MAX

3

# NOVA

VWO|GYMNASIUM

Natuurkunde

Uitwerkingenboek





MALMBERG



## 3 VWO|GYMNASIUM

**Natuurkunde**

**Uitwerkingenboek**

**Auteurs**
Fons Alkemade
Florentien Kan
Louis Lenders
Sander Michon
François Molin
Rein Tromp
Paul Verhagen

**Eindredactie**
Claud Biemans

MAX Release 5.1

www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, 's-Hertogenbosch

# Inhoud


## 1 Elektriciteit 4

INTRODUCTIE
Wat weet je al over elektriciteit? 6

THEORIE
1 Elektrische energie opwekken 8
2 Elektrische energie vervoeren 17
3 Elektriciteit in huis 27
4 Elektriciteit en veiligheid 36

PRAKTIJK
Een supernetwerk voor Europa 46

## 2 Krachten 48

INTRODUCTIE
Wat weet je al over krachten? 50

THEORIE
1 Soorten krachten 51
2 Meer dan één kracht 57
3 Voortstuwen en tegenwerken 68
4 Krachten in het heelal 80

PRAKTIJK
De krachten van Epke Zonderland 88

## 3 Energie 92

INTRODUCTIE
Wat weet je al over energie? 94

THEORIE
1 Energiebronnen 96
2 Verwarmen 103
3 Isoleren 112
4 Rendement 120

PRAKTIJK
Duurzaam geproduceerde energie opslaan 130

## 4 Kracht en beweging 134

INTRODUCTIE
Wat weet je al over kracht en beweging? 136

THEORIE
1 Versnellen en vertragen 138
2 Kracht, massa en versnelling 148
3 Kracht en arbeid 158
4 Remmen en botsen 166

PRAKTIJK
Werken als verkeersmanager 176

## 5 Schakelingen 180

INTRODUCTIE
Wat weet je al over schakelingen? 182

THEORIE
1 Lading en spanning 183
2 Weerstand 190
3 Werken met weerstanden 198
4 Automatische schakelingen 208

PRAKTIJK
Bizar snel: de quantumcomputer 216

## 6 Straling 222

INTRODUCTIE
Wat weet je al over licht en straling? 224

THEORIE
1 Elektromagnetische straling 225
2 Licht en lenzen 233
3 Röntgenfoto's maken 242
4 Werken met gammastraling 252

PRAKTIJK
De kunst van het ontmaskeren 260

Colofon 262

# 1 Elektriciteit

## ELEKTRISCHE ENERGIE GEBRUIKEN

**Duurzame energiebronnen zijn de toekomst. Je ziet steeds meer zonnepanelen en windmolens die elektriciteit opwekken. Auto's die rijden op benzine of diesel worden steeds vaker vervangen door elektrische auto's. In plaats van te tanken bij een benzinestation, zoek je nu een parkeerplaats bij een laadpaal op straat.**


INTRODUCTIE

Wat weet je al over elektriciteit? 6

THEORIE

1 Elektrische energie opwekken 8

2 Elektrische energie vervoeren 17

3 Elektriciteit in huis 27

4 Elektriciteit en veiligheid 36

PRAKTIJK

Een supernetwerk voor Europa 46



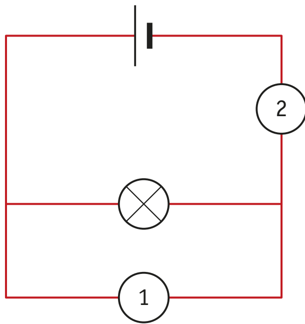



# Wat weet je al over elektriciteit?

## OPDRACHTEN VOORKENNIS

**1** In de schakeling van figuur 1 worden twee meters gebruikt, 1 en 2. Ze zijn juist geschakeld.

- Meter 2 is een stroommeter. Hiermee meet je de stroomsterkte in de eenheid ampère, afgekort A.
- Meter 1 is een spanningsmeter. Hiermee meet je de spanning in de eenheid volt, afgekort V.



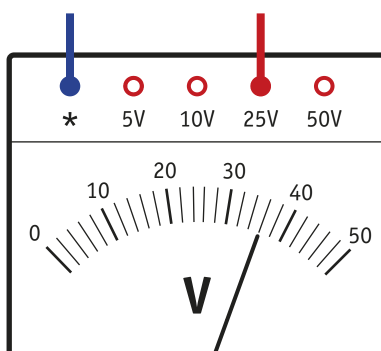

**figuur 1** Een schakeling met twee meters.

**2** Riza's luidspreker maakt een irritante bromtoon. De conus van de luidspreker gaat daarbij vijftig keer per seconde heen en weer.
Wat is juist?

- ○ A De amplitude van de geluidstrilling is 50 dB.
- ○ B De amplitude van de geluidstrilling is 50 Hz.
- ○ C De frequentie van de geluidstrilling is 50 dB.
- ● D De frequentie van de geluidstrilling is 50 Hz.

**3** Lees de spanningsmeter in figuur 2 af. Let op de aansluiting van het rode snoer.

$U$ = 18 V




**figuur 2** Een spanningsmeter.

**4** Reken om.

275 mV = 0,275 V

0,025 V = 25 mV

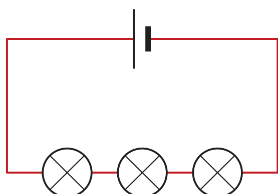
17 mA = 0,017 A

0,734 A = 734 mA

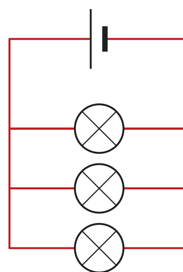
45 min = 0,75 h

0,125 h = 450 s

**5** Schrijf onder elke figuur de soort schakeling.



serieschakeling



parallelschakeling

**6** Onderstreep de materialen die elektrische stroom goed geleiden.

*hout / glas / ijzer / koper / plastic / zilver*

# 1 Elektrische energie opwekken

## LEERSTOF

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Met een dynamo kun je een wisselspanning opwekken.

Zo'n wisselspanning noem je ook wel een inductiespanning.

**b** De spoel in een dynamo is aangebracht rond een U-vormige metalen kern.

De kern van dit metaal is gemaakt van weekijzer.

**c** Waarom wordt dit metaal gekozen?

Weekijzer kun je snel magnetiseren en demagnetiseren.

**d** Wat wordt bedoeld met 'het magneetveld van een magneet'?

Dat is het gebied waar de magneet krachten uitoefent.

**2** Bekijk de afbeelding van de elektriciteitscentrale in figuur 2.

**a** Waarvoor wordt de warmte gebruikt die de branders produceren?

Om het water in de ketel te verhitten tot stoom.

**b** Hoe wordt de as van de turbine daarna aan het draaien gebracht?

De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van de turbine.

**c** Hoe heet het apparaat dat wordt gebruikt om met behulp van die beweging elektriciteit op te wekken?

een generator

**d** Waarom worden er bij sommige elektriciteitscentrales koeltorens gebouwd?

Om het koelwater te laten afkoelen voordat het op het oppervlaktewater wordt geloosd.

## TOEPASSING

**3** Stefan doet de proef die in figuur 9 is afgebeeld. De spanningsmeter slaat uit als Stefan de magneet laat draaien. Hij brengt daarna vier keer een verandering aan in zijn opstelling.
Verandert in de volgende gevallen de spanning en zo ja, hoe?

**a** Stefan laat de magneet sneller ronddraaien.

Ja, dan wordt de spanning groter.

**b** Stefan laat de magneet met dezelfde snelheid in de tegengestelde richting draaien.

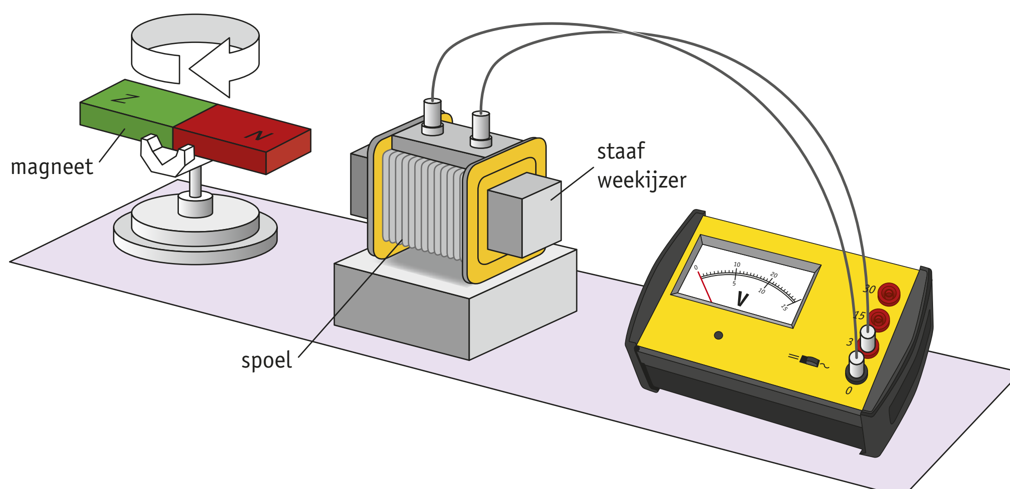
Nee, dan verandert de spanning niet.

**c** Stefan haalt de staaf weekijzer uit de spoel weg.

Ja, dan wordt de spanning kleiner.

**d** Stefan vervangt de magneet door een sterkere magneet.

Ja, dan wordt de spanning groter.




**figuur 9** De proef van Stefan.

**4** De fiets van Jeroen heeft een dynamo in de naaf van het voorwiel. Als het donker wordt, schakelt het licht automatisch aan. Na een tijdje wordt Jeroen moe en gaat hij langzamer fietsen.
Op welke twee manieren verandert dan de spanning die de dynamo levert?

Als de dynamo langzamer draait, gaat de maximale spanning naar beneden: de toppen van de golfbeweging worden minder hoog en de dalen minder diep. Ook is er voor elke volledige golfbeweging (één keer omhoog en één keer omlaag) meer tijd nodig. Dat komt doordat het langer duurt voordat de magneet in de dynamo een volledige omwenteling heeft gemaakt. De frequentie van de wisselspanning die de dynamo opwekt neemt dus af.

**5** De steenkoolcentrale Centrale Hemweg in Amsterdam levert een piekvermogen van 630 MW aan het elektriciteitsnet. Het windmolenpark Wieringerwerf levert een piekvermogen van 300 MW. Een doorsnee huishouden neemt tijdens de uren dat het elektriciteitsverbruik het hoogst is, gemiddeld een elektrisch vermogen van 800 W op.

**a** Zie de vaardigheid *Werken met grootheden en eenheden*.
Bereken hoeveel huishoudens door de Centrale Hemweg en door het windmolenpark Wieringerwerf van elektrische energie kunnen worden voorzien.

De Centrale Hemweg kan $\frac{630 \cdot 10^6}{800} = 788 \cdot 10^3$ huishoudens van elektriciteit voorzien.

Het windmolenpark Wieringerwerf kan $\frac{300 \cdot 10^6}{800} = 375 \cdot 10^3$ huishoudens van elektriciteit voorzien.

Of in alledaags taalgebruik: 788 duizend en 375 duizend huishoudens.

**b** De meeste elektriciteitscentrales werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

Het grootste gedeelte van de dag hebben huishoudens minder elektrisch vermogen nodig.

**c** De meeste windmolenparken werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

Het grootste gedeelte van de dag is de wind niet krachtig genoeg, waardoor de windmolens minder elektrisch vermogen leveren dan hun piekvermogen aangeeft.

**6** In figuur 10 staat het elektrisch vermogen dat een gemiddeld huishouden opneemt in de loop van een etmaal. De ene grafiek geldt voor de zomer, de andere voor de winter.

**a** Welke grafiek geldt voor de winter? Licht je antwoord toe.

Grafiek A geldt voor de winter. Dan branden er in huis meer lampen, staat de cv aan (met een elektrische pomp) en zijn mensen vaker binnen, waardoor ze ook eerder een elektrisch apparaat zullen gebruiken.

**b** Hoe groot is het verschil tussen het maximaal en het minimaal benodigde vermogen in de winter?

Het minimale vermogen lees je af bij ongeveer 5.00 uur: 0,22 kW.
Het maximale vermogen ligt bij ongeveer 20.00 uur: 0,73 kW.
Het verschil is 0,51 kW.

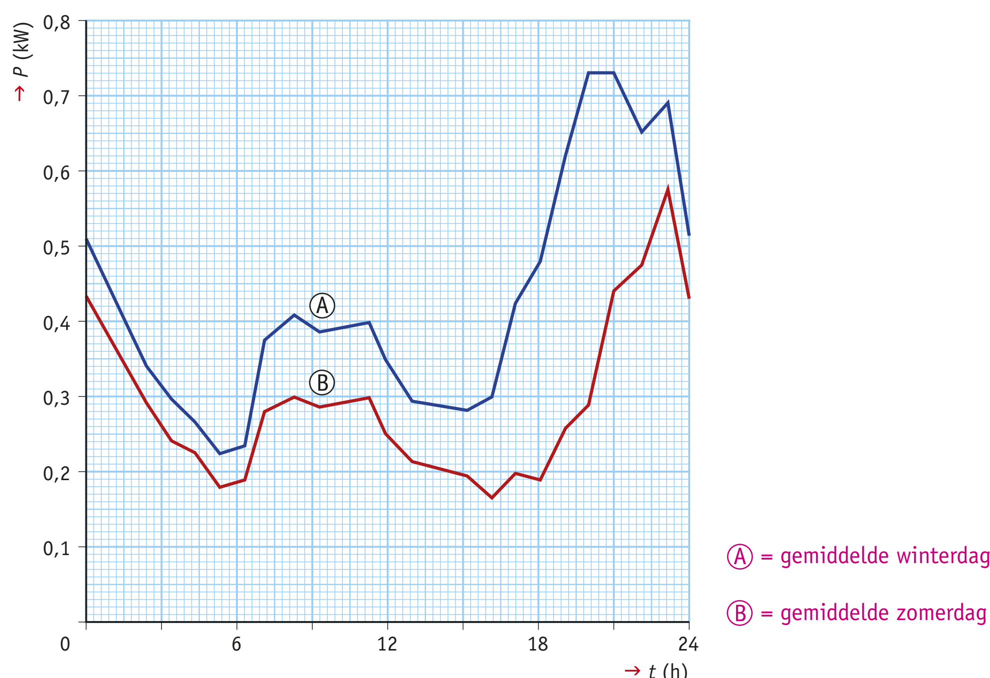
**c** Leg uit waarom dit een probleem is voor de elektriciteitsproductie en bedenk een mogelijke oplossing daarvoor.

Door de wisselende vraag naar energie kunnen de generatoren van de centrale niet op een constant toerental draaien. In daluren moeten ze langzamer draaien dan in piekuren. Het is voor deze machines en voor het rendement beter als het toerental altijd op een bepaald niveau kan blijven.

Een oplossing zou zijn om altijd het vermogen te leveren dat nodig is tijdens de piekuren. De energie die tijdens de overige uren niet wordt verbruikt, zou je dan moeten opslaan in een buffer. Je kunt ook een aantal kleine eenheden bouwen die alleen worden aangezet als dat nodig is.

**d** Maak een schatting van het gemiddelde opgenomen vermogen in de winter.

Je moet een horizontale lijn trekken, zodanig dat de oppervlakte van twee gebieden in de grafiek even groot is. 1: tussen die getrokken lijn en het deel van grafiek A eronder, en 2: tussen de getrokken lijn en het deel van grafiek A erboven. Dan kom je uit op iets meer dan 0,4 kW, zeg 0,41 kW.




**figuur 10** Het opgenomen vermogen van een gemiddeld huishouden.

**7** In figuur 11 zie je een doorsnede van de kop van een windmolen.

**a** Leg stap voor stap uit hoe de molen elektrische energie levert.

De wind laat de rotorbladen ronddraaien. Die bladen zijn verbonden via een as met een tandwielkast. De as die uit de tandwielkast komt, laat de generator ronddraaien, waardoor een wisselstroom wordt opgewekt. Met de transformator wordt de spanning van deze stroom veranderd (zie de volgende paragraaf).

**b** Waarom is er een tandwielkast nodig?

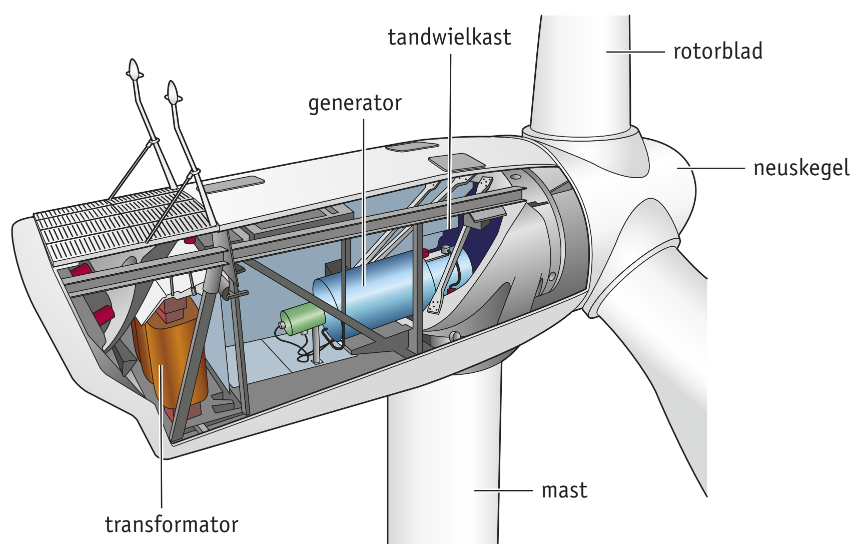
De rotorbladen draaien vrij langzaam. Als er geen tandwielen zouden zijn, zou de generator te langzaam draaien en een te lage spanning leveren.

**c** Levert een windmolen wissel- of gelijkspanning?

De generator van de windmolen levert wisselspanning, net als een dynamo.

**d** Hoe verandert de frequentie als de molen sneller gaat draaien?

Als de molen sneller draait, draait de generator sneller rond en komen er meer 'wisselspanningsgolven' per seconde, dus de frequentie neemt dan toe.




**figuur 11** De kop van een windmolen.

**8** Met een koffiepadmachine kun je snel een kopje koffie zetten. Eerst maakt zo'n machine de juiste hoeveelheid water heet. Daarna perst ze het hete water onder hoge druk door een koffiepad. In figuur 12 kun je zien hoe het vermogen daarbij omhoog- en omlaaggaat. Bereken met de gegevens in figuur 12 hoeveel elektrische energie nodig is om één kopje koffie te zetten.

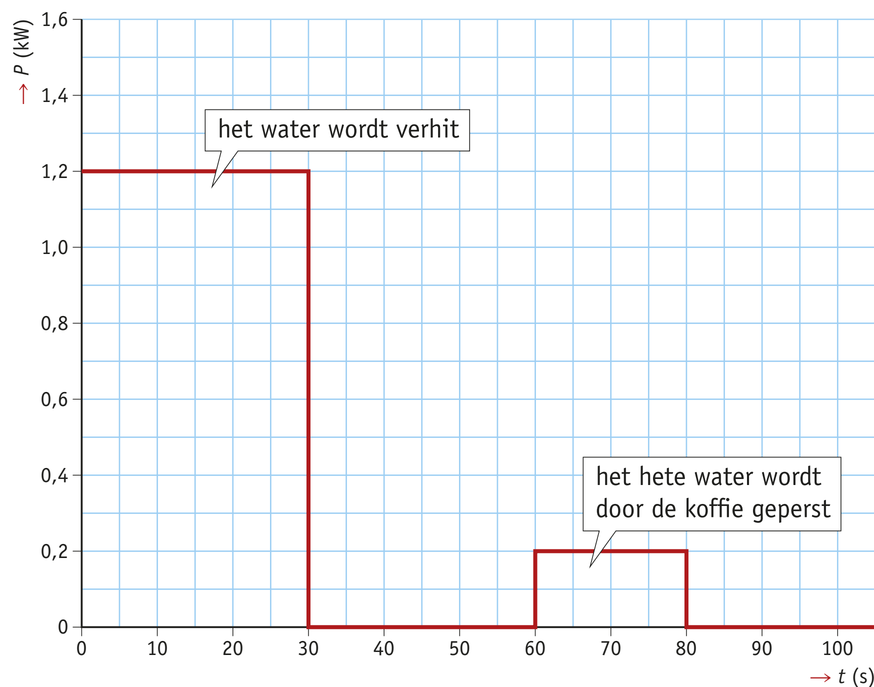
Het verhitten van het water:

$E = P \cdot t = 1200 \text{ W} \times 30 \text{ s} = 36\,000 \text{ J} = 36 \text{ kJ}$

Het water door de koffie persen:

$E = P \cdot t = 200 \text{ W} \times 20 \text{ s} = 4000 \text{ J} = 4{,}0 \text{ kJ}$

totale hoeveelheid elektrische energie = 36 + 4,0 = 40 kJ




**figuur 12** Het ($P$,$t$)-diagram van een koffiepadmachine.

## PLUS ZONNEPANELEN

**9** Voor de productie, het transport en de recycling van een zonnepaneel van 1,0 $m^2$ is 1,8 GJ nodig. Na een bepaalde tijd heeft dat zonnepaneel diezelfde hoeveelheid energie geleverd. Pas daarna gaat het zonnepaneel netto energie leveren.

**a** In Nederland levert een doorsnee zonnepaneel gemiddeld over dag en nacht 16,2 $W/m^2$.
Bereken hoeveel joule het paneel jaarlijks levert.

Als het paneel 1 $m^2$ is, levert het in Nederland 16,2 W. In een jaar zitten

$365 \times 24 \times 60 \times 60 = 3{,}15 \cdot 10^7$ seconden.

$E = P \cdot T = 16{,}2 \times 3{,}15 \cdot 10^7 = 5{,}11 \cdot 10^8$ J

**b** Bereken na hoeveel jaar het paneel netto energie begint te leveren.

$E_{productie} = 1{,}8$ GJ $= 1{,}8 \cdot 10^9$ J

Ieder jaar levert het paneel: $E = 5{,}11 \cdot 10^8$ J

$$t = \frac{E_{productie}}{E} = \frac{1{,}8 \cdot 10^9}{5{,}11 \cdot 10^8} = 3{,}5 \text{ jaar}$$

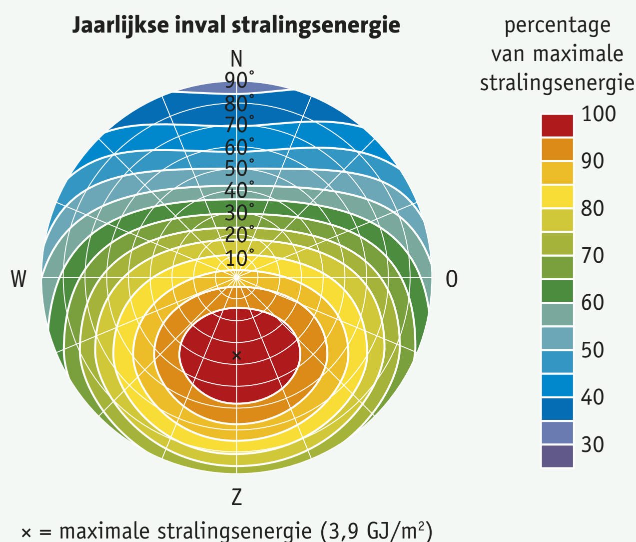
**10** Esra wil zonnepanelen op het dak van haar vakantiehuis plaatsen. De opbrengst hangt behalve van het aantal en type zonnepanelen ook af van de oriëntatie (op het zuiden is het gunstigst) en de hellingshoek van het dak. Van de fabrikant van de zonnepanelen ontvangt ze een informatiebrochure met informatie over de stralingsenergie van de zon in haar vakantieoord (figuur 13).

**a** Leg met behulp van figuur 13 uit welke hellingshoek van het dak het gunstigst is als Esra's zonnepanelen precies op het zuiden zijn gericht.

Het zwarte kruisje geeft het maximum aan. Dit punt ligt in de richting

van het zuiden en precies tussen 30° en 40°, dus de ideale hellingshoek

is 35 °.




**figuur 13** De stralingsenergie van de zon per jaar als functie van de richting en de hellingshoek.

**b** Het dak van Esra ligt precies op het oosten en de hellingshoek is 30°.
Toon aan dat 1 $m^2$ zonnepaneel per jaar (ongeveer) 3,3 GJ aan stralingsenergie ontvangt.

In de figuur kun je aflezen dat bij een hellingshoek van 30° en ligging op het oosten de stralingsenergie ongeveer 84% van het maximum (3,9 GJ) is. Er valt dus $0{,}84 \times 3{,}9 = 3{,}3$ GJ/$m^2$ stralingsenergie in op het dak.

**c** Esra wil zonnepanelen bestellen met een vermogen van 275 Wp en een oppervlak van 1,6 $m^2$. Van de invallende stralingsenergie wordt slechts een deel omgezet in elektrische energie.
Toon aan dat de zonnepanelen van Esra in optimale omstandigheden 17% van de invallende stralingsenergie in elektrische energie omzetten. Gebruik hierbij de definitie van wattpiek uit de tekst.

275 Wp betekent dat het paneel van 1,6 $m^2$ 275 W opbrengt bij een invallend stralingsvermogen van 1000 W/$m^2$. Per $m^2$ levert het zonnepaneel dus (maximaal) $\frac{275}{1{,}6} = 172$ W bij een invallend stralingsvermogen van 1000 W/$m^2$.

Van de stralingsenergie wordt (per $m^2$) dus $\frac{172}{1000} = 17\%$ omgezet in elektrische energie.

**d** In werkelijkheid wordt bij Esra (gemiddeld) 15% van de invallende stralingsenergie per jaar (3,3 GJ/$m^2$) omgezet in elektrische energie. Esra verbruikt gemiddeld 10 GJ elektrische energie per jaar.
Bereken hoeveel zonnepanelen Esra moet plaatsen om in haar vakantiehuisje in haar energiebehoefte te voorzien.

Per $m^2$ levert het zonnepaneel $0{,}15 \times 3{,}3 = 0{,}50$ GJ aan elektrische energie, dus $E = 0{,}50$ GJ. Het aantal vierkante meter zonnepaneel is dan gelijk aan: $\frac{10}{0{,}50} = 20\ m^2$

Opmerking: je kunt deze laatste berekening ook met een verhoudingstabel uitvoeren.

Elk zonnepaneel heeft een oppervlak van 1,6 $m^2$.

Dus het aantal zonnepanelen is $\frac{20}{1{,}6} = 13$.

**e** Op een website leest Esra de volgende informatie:

## Wat is wattpiek ook alweer?

Wattpiek (Wp) geeft aan hoeveel stroom je zonnepanelen in de beste situatie opwekken. De werkelijkheid is natuurlijk altijd anders, daarom moet je even omrekenen. In Nederland levert 1 Wp elk jaar ongeveer 3,1 MJ op.

Bron: www.essent.nl

Bereken met de gegevens van de website opnieuw hoeveel zonnepanelen Esra zou moeten plaatsen om in Nederland in haar eigen energiebehoefte te voorzien. Komt dit aantal (ongeveer) overeen met het antwoord dat je bij opdracht d hebt gevonden?

Esra heeft $\frac{10 \cdot 10^9}{3{,}1 \cdot 10^6} = 3{,}2 \cdot 10^3$ wattpiek vermogen nodig. Elk zonnepaneel levert 275 Wp.

Dus het aantal panelen is $\frac{3{,}2 \cdot 10^3}{275} = 12$.

Dit is ongeveer hetzelfde aantal als in opdracht d.

# 2 Elektrische energie vervoeren

## LEERSTOF

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Waarom wordt elektrische energie bij een zo hoog mogelijke spanning vervoerd?

Om het energieverlies te beperken, zodat er meer elektrische energie voor de eindgebruikers overblijft.

**b** Leg uit wat wordt bedoeld met 'wisselspanning met een frequentie van 50 Hz'.

Deze spanning gaat voortdurend op en neer, volgens een vast patroon dat zich 50x per seconde herhaalt.

**c** Welke eigenschappen moet een transformator hebben om de spanning te verdubbelen, bijvoorbeeld van 5 V primair naar 10 V secundair?

Het aantal windingen van de secundaire spoel moet twee keer zo groot zijn als dat van de primaire spoel.
Bijvoorbeeld: 200 windingen primair, 400 windingen secundair.

**d** Wat wordt bedoeld met 'een ideale transformator'?

Een ideale transformator is een denkbeeldige transformator, waarin helemaal geen energie verloren gaat: alle elektrische energie die de primaire spoel in gaat, wordt door de secundaire spoel weer afgegeven.
Een echte transformator is niet ideaal, maar vaak is het verschil klein.

**2** Francisca laadt haar mobieltje met een adapter op. Tussen de elektriciteitscentrale en haar mobieltje is de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.
Vul tabel 1 in. Kies bij de spanningen uit: *5 V – 230 V – 10 kV – 380 kV*

**tabel 1** Vier keer de spanning transformeren.

| de transformator | transformeert de spanning | | |
|---|---|---|---|
| | omhoog / omlaag | van | naar |
| in de elektriciteitscentrale | omhoog | 20 kV | 380 kV |
| in het transformatorstation buiten de stad of het dorp | omlaag | 380 kV | 10 kV |
| in het transformatorhuisje in de stad of het dorp | omhoog | 10 kV | 230 V |
| in de adapter van haar mobieltje | omlaag | 230 V | 5 V |

## TOEPASSING

**3** De Amerikaanse Suzy is verhuisd naar Nederland. Ze wil haar koffiemachine uit de VS aansluiten op het Nederlandse lichtnet. Met dat doel kocht ze '*a voltage converter which converts the European voltage – a whopping 230 V – to the standard USA mains voltage*' (figuur 7).
De transformator in de omvormer heeft een secundaire spoel met 500 windingen.
Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.




**figuur 7** Het typeplaatje van Suzy's koffiemachine.

$U_p = 230$ V $\quad N_p = ?$

$U_s = 120$ V $\quad N_s = 500$

$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{120} = \frac{N_p}{500}$

Kruislings vermenigvuldigen: $230 \times 500 = 120 \cdot N_p$

$N_p = \frac{115\,000}{120} = 958$ windingen

**4** Netta heeft drie spoelen: spoel A met 100 windingen, spoel B met 200 windingen en spoel C met 400 windingen. Ze kan een eenvoudige transformator maken door twee van de spoelen over een weekijzeren kern te plaatsen.
Met welke combinatie van spoelen kan Netta een wisselspanning van 6 V:

**a** omhoog transformeren tot 12 V (twee mogelijkheden)?

Mogelijkheid 1: de primaire spoel is spoel A, de secundaire spoel is spoel B.

Mogelijkheid 2: de primaire spoel is spoel B, de secundaire spoel is spoel C.

**b** omhoog transformeren tot 24 V?
De primaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*, de secundaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*. (A and C underlined)

**c** omlaag transformeren tot 3 V (twee mogelijkheden)?

Mogelijkheid 1: de primaire spoel is spoel B, de secundaire spoel is spoel A.

Mogelijkheid 2: de primaire spoel is spoel C, de secundaire spoel is spoel B.

**d** omlaag transformeren tot 1,5 V?
De primaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*, de secundaire spoel is spoel *A* / *B* / *C*. (C and A underlined)

**5** Boudewijn heeft een spanningsbron die alleen een spanning van 6,0 V levert. Voor de proef die hij wil doen, heeft hij een hogere spanning nodig. Daarom besluit hij om zelf een transformator te maken. Hij heeft daarvoor de keuze uit vier spoelen met respectievelijk 200, 300, 400 en 600 windingen.

**a** Met welke combinatie van spoelen kan Boudewijn de spanning het verst omhoogbrengen?

Hij gebruikt voor de primaire spoel 200 windingen en voor de secondaire spoel 600 windingen.

**b** Bereken hoe groot de secundaire spanning wordt als hij die combinatie gebruikt.

$U_p = 6{,}0$ V, $N_p = 200$, $N_s = 600$, $U_s = ?$

$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{6{,}0}{U_s} = \frac{200}{600}$

Kruislings vermenigvuldigen:

$200 \cdot U_s = 6{,}0 \times 600 = 3600$

$U_s = \frac{3600}{200} = 18$ V

**c** Op de spanningsbron zit een schakelaar met twee standen:
= (gelijkspanning) en ~ (wisselspanning)
Leg uit welk soort spanning Boudewijn voor zijn transformator moet kiezen.

Het magnetische veld moet telkens wisselen om aan de secundaire kant van de transformator een spanning op te wekken. Een wisselend magnetisch veld wordt alleen opgewekt als de spanning van de spanningsbron ook wisselt. Dus Boudewijn kiest wisselspanning: ~

**★ 6** Bij het lichtnet is de maximale waarde van de wisselspanning 325 V en de effectieve waarde 230 V. Voor de omrekening geldt: $U_{eff} = x \cdot U_{max}$

**a** Bereken *x*.

$U_{eff} = x \cdot U_{max}$

$230 = x \cdot 325$ en dus geldt $x = \frac{230}{325} = 0{,}708$.

**b** Een lampje levert 6,0 W als het brandt op een gelijkspanning van 12 V. Je wilt het lampje laten branden op een wisselspanning.
Hoe groot moet $U_{eff}$ dan zijn?

De effectieve waarde van de wisselspanning moet gelijk zijn aan de gelijkspanning die evenveel vermogen levert. Dat is 12 V.

**c** Bereken $U_{max}$ van de wisselspanning.

$U_{eff} = x \cdot U_{max}$ en dus geldt: $12 = 0{,}708 \cdot U_{max}$

$U_{max} = \frac{12}{0{,}708} = 17$ V

**7** Transformatoren worden vaak gebruikt als ‘veiligheidstransformator’. Zo’n transformator zet de spanning van het lichtnet (230 V) om in een veilige laagspanning.

**a** De beide spoelen van een veiligheidstransformator moeten goed van elkaar zijn gescheiden door isolerend materiaal.
Leg uit waarom dat nodig is.

Anders kan de spanning van spoel A bij spoel B komen en zo in de secundaire stroomkring belanden. Hierdoor kunnen er gevaarlijke situaties ontstaan, waarbij mensen in contact kunnen komen met 230 V, precies wat de veiligheidstransformator moet voorkomen.

**b** Noteer twee situaties waarin een veiligheidstransformator wordt toegepast.

Voorbeelden zijn bij een deurbel, een modelspoorbaan en een snoerloos scheerapparaat.

**c** Een veiligheidstransformator transformeert de spanning van het lichtnet omlaag naar 12 V. De primaire spoel heeft 115 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

$U_p = 230$ V, $U_s = 12$ V, $N_p = 115$, $N_s = ?$

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{12} = \frac{115}{N_s}$$

Kruislings vermenigvuldigen:

$12 \times 115 = 230 \cdot N_s = 1380$

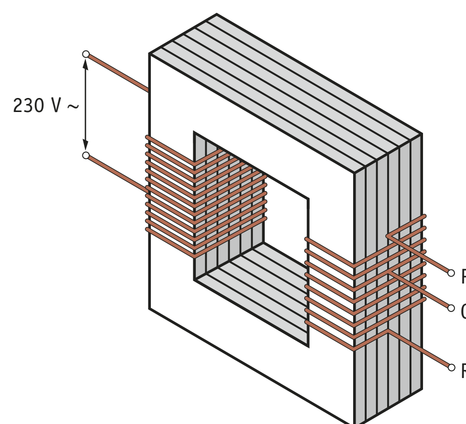
$$N_s = \frac{1380}{230} = 6 \text{ windingen}$$

De secundaire spoel heeft 6 windingen.

**8** Een elektrische deurbel werkt op de laagspanning van een beltransformator. In figuur 8 is zo’n beltransformator schematisch getekend. De primaire spoel is aangesloten op het lichtnet (230 V). Aan de secundaire kant heb je drie aansluitmogelijkheden: 3 V, 5 V of 8 V.

**a** Hoe groot zal de spanning zijn tussen de aansluitpunten P en Q: 3 V, 5 V of 8 V? Licht je antwoord toe.

Aan de secundaire kant heeft de aansluiting PQ het minst aantal windingen. De spanning tussen PQ zal het laagst zijn: 3 V.




**figuur 8** Een beltransformator.

**b** De primaire spoel heeft 800 windingen.
Bereken het (totale) aantal windingen van de secundaire spoel.

$U_p = 230$ V $\quad N_p = 800$

$U_s = 8$ V $\quad N_s = ?$

$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{8} = \frac{800}{N_s}$

Kruislings vermenigvuldigen:

$230 \cdot N_s = 8 \times 800 = 6400$

$N_s = \frac{6400}{230} = 28$ windingen

De secundaire spoel heeft 28 windingen.

**c** Een bel wordt aangesloten op de aansluitpunten Q en R. Als iemand aanbelt, loopt er een stroom van 0,42 A door de secundaire stroomkring.
Bereken de stroomsterkte door de primaire spoel. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

$U_p = 230$ V $\quad I_p = ?$

$U_s = 5$ V $\quad I_s = 0{,}42$ A

$U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

$230 \cdot I_p = 5 \times 0{,}42$

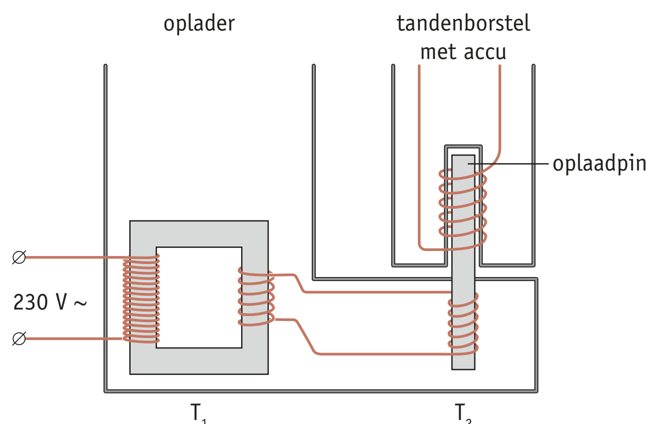
$230 \cdot I_p = 2{,}1$

$I_p = \frac{2{,}1}{230} = 0{,}0091$ A $= 9{,}1$ mA

**★ 9** Een elektrische tandenborstel wordt draadloos opgeladen (figuur 9). Er is geen elektrisch contact tussen de oplader en de tandenborstel. In figuur 10 is getekend hoe dat werkt. De oplader maakt gebruik van twee transformatoren: $T_1$ en $T_2$. De windingen van de spoelen zijn schematisch aangegeven, het werkelijke aantal windingen is groter.



**figuur 9** Een elektrische tandenborstel.




**figuur 10** Het schakelschema van een oplader met elektrische tandenborstel.

**a** Leg stap voor stap uit hoe de elektrische energie van het lichtnet in de tandenborstel terechtkomt.

1. De elektrische energie van het lichtnet die de primaire spoel van transformator $T_1$ in gaat, wordt door zijn secundaire spoel met een lagere spanning afgegeven.
2. De primaire spoel van transformator $T_2$ is elektrisch verbonden met de secundaire spoel van $T_1$ en brengt de energie over naar de secundaire spoel van $T_2$ in de tandenborstel.
3. De secundaire spoel van $T_2$ geeft de elektrische energie af aan de schakeling die de accu in de tandenborstel oplaadt.

**b** Transformator $T_1$ transformeert de spanning van het lichtnet van 230 V naar 2,4 V. De stroomsterkte door de secundaire spoel is maximaal 0,45 A.
Bereken hoe groot de stroomsterkte door de primaire spoel dan is. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

$U_p = 230\text{ V}$ $\quad I_p = ?$

$U_s = 2{,}4\text{ V}$ $\quad I_s = 0{,}45\text{ A}$

$U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

$230 \cdot I_p = 2{,}4 \times 0{,}45$

$I_p = \frac{1{,}08}{230} = 0{,}0047\text{ A} = 4{,}7\text{ mA}$

**c** Transformator $T_2$ geeft de spanning alleen door, maar maakt deze niet hoger of lager. Hoe is dat mogelijk?

Het aantal windingen van de primaire spoel is even groot als het aantal windingen van de secundaire spoel. $N_p$ / $N_s$ is dus gelijk aan 1 ($N_p$ en $N_s$ zijn even groot), dus is $U_p$ / $U_s$ ook gelijk aan 1 ($U_p$ en $U_s$ zijn ook even groot).

**d** Om een accu op te laden heb je een gelijkspanning nodig. Met een wisselspanning lukt dat niet. De wisselspanning wordt daarom met een gelijkrichter (een elektronische schakeling) omgezet in een gelijkspanning voordat ze naar de accu gaat. Leg uit waar die gelijkrichter zich bevindt: in de oplader of in de tandenborstel zelf?

Transformatoren werken op wisselspanning. Daarmee kun je een veranderend magneetveld creëren dat in de secundaire spoel weer een wisselspanning opwekt. De secundaire spoel van transformator $T_2$ (die zich in de tandenborstel bevindt) geeft dus een wisselspanning af. Conclusie: de gelijkrichter moet zich in de tandenborstel bevinden, waar hij de wisselspanning van de secundaire spoel van transformator $T_2$ omzet in gelijkspanning voor de accu.

## PLUS ELEKTRISCHE ENERGIE OPSLAAN

**10** In figuur 11 zie je vier voorbeelden van powerbanks die een bepaalde stroomsterkte leveren. Elke powerbank kan de gevraagde stroom gedurende een bepaalde tijd leveren. Zet de powerbanks op volgorde van de kortste tot de langste tijd. Doe dit zoveel mogelijk op basis van redeneren en leg uit hoe je de volgorde hebt bepaald.

**figuur 11** Vier voorbeelden van powerbanks die een stroomsterkte leveren.



| a | b | c | d |
|---|---|---|---|
| $C$ = 2000 mAh | $C$ = 5000 mAh | $C$ = 2000 mAh | $C$ = 5000 mAh |
| $I$ = 50 mA | $I$ = 100 mA | $I$ = 100 mA | $I$ = 50 mA |

Powerbank C heeft de kleinste capaciteit en moet de grootste stroom leveren. Deze zal daarom binnen de kortste tijd leeg zijn.

Powerbank D heeft de grootste capaciteit en moet de kleinste stroom leveren. Daarom zal deze het langst stroom kunnen leveren.

Dan blijven A en B over. Powerbank A heeft de kleinste capaciteit, maar moet ook een kleinere stroom leveren. Hier is wat hoofdrekenwerk nodig.

Powerbank B heeft de grootste capaciteit, maar moet ook een grotere stroom leveren.

Powerbank A:

$C = 2000$ mAh

$I = 50$ mA

$t = ...$ h

$t = \frac{C}{I}$

$t = \frac{2000}{50} = 40$ h

Powerbank B:

$C = 5000$ mAh

$I = 100$ mA

$t = ...$ h

$t = \frac{C}{I}$

$t = \frac{5000}{100} = 50$ h

De juiste volgorde van korte naar lange tijd is dus: C – A – B – D

**11** In draadloze oordopjes (figuur 12) zitten kleine batterijen. In de advertentie staat: ‘de lithium-poly 60 mAh batterij is een hoge-capaciteitsbatterij en biedt 4,0 uur beltijd of muziek’.

**a** Bereken de stroomsterkte in deze oordopjes als je muziek luistert.

$C = 60\ \text{mAh}$

$t = 4{,}0\ \text{h}$

$I = ...\ \text{mA}$

$I = \frac{C}{t}$

$I = \frac{60}{4} = 15$

$I = 15\ \text{mA}$




**figuur 12** Draadloze oordopjes.

**b** Als je de oordopjes oplaadt, duurt dat gelukkig minder dan 4,0 uur. De stroom die dan door de oordopjes loopt is 35 mA.
Bereken de oplaadtijd in minuten.

$C = 60\ \text{mAh}$

$I = 35\ \text{mA}$

$t = ...\ \text{min}$

$t = \frac{C}{I}$

$t = \frac{60}{35} = 1{,}714\ \text{h}$

$t = 1{,}714 \times 60 = 102{,}9\ \text{min}$

$t = 1{,}0 \cdot 10^2\ \text{min}$

**12** Als je zonnepanelen op je dak hebt, kun je de opgewekte energie aan het elektriciteitsnet leveren, maar je kunt er ook een batterij mee opladen. Het Amerikaanse bedrijf Tesla heeft daarvoor de Powerwall ontwikkeld (figuur 13). Deze batterij slaat de overdag opgewekte zonne-energie op, zodat je die 's avonds kunt gebruiken.
Tesla geeft bij de productspecificaties van de Powerwall de hoeveelheid energie die je in de batterij kunt opslaan: 13,5 kWh. Op basis hiervan kun je de capaciteit berekenen.

**a** Laat op basis van de twee formules voor vermogen zien dat geldt: $E = U \cdot I \cdot t$

De twee formules voor vermogen zijn:

$P = \frac{E}{t}$ en $P = U \cdot I$

Dus: $\frac{E}{t} = U \cdot I$

De $t$ naar de andere kant brengen geeft: $E = U \cdot I \cdot t$

**b** Laat zien dat je de capaciteit kunt berekenen met: $C = \frac{E}{U}$

De formule voor capaciteit is $C = I \cdot t$.

In $E = U \cdot I \cdot t$ kun je $I \cdot t$ vervangen door $C$.

Je krijgt dan $E = U \cdot C$.

Omschrijven geeft: $C = \frac{E}{U}$

**c** Bereken de capaciteit van een Powerwall.

De netspanning in je huis is 230 V.

$E = 13{,}5$ kWh = 13 500 Wh

$U = 230$ V

$C = \frac{E}{U}$

$C = \frac{13\,500}{230} = 58{,}696$

$C = 58{,}7$ Ah



**figuur 13** Een Powerwall in huis.

# 3 Elektriciteit in huis

## LEERSTOF

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Met welke twee formules kun je de totale stroomsterkte in een groep berekenen?

$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$

$P_{tot} = U \cdot I_{tot}$

De laatste formule kun je herschrijven als:

$I = \frac{P_{tot}}{U}$

**b** Wat zijn de verschillen tussen een fasedraad, een nuldraad en een schakeldraad?

De fasedraad is bruin; er staat een wisselspanning op van 230 V.

De nuldraad is blauw; er staat geen spanning op.

De schakeldraad is zwart; er staat een wisselspanning op van 230 V als de schakelaar in de AAN-stand staat, en geen spanning op als de schakelaar in de UIT-stand staat.

**c** Hoe kan het dat een apparaat met een klein vermogen soms verrassend veel energie verbruikt?

Als een apparaat dag en nacht aanstaat, dan is de tijd $t$ erg groot. Door die grote $t$ kan de uitkomst van $E = P \cdot t$ verrassend groot zijn, ondanks de lage waarde van $P$.

**d** Door welke twee factoren wordt het vermogen van een elektrisch apparaat bepaald?

de spanning $U$ (over het apparaat) en de stroomsterkte $I$ (door het apparaat)

**e** Welk instrument meet hoeveel elektrische energie er in huis wordt verbruikt?

Dat kan een ouderwetse kWh-meter zijn, of een moderne 'slimme' energiemeter.

**2** In tabel 1 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die in dit hoofdstuk voorkomen. Vermeld zijn de officiële wetenschappelijke eenheden, ook wel SI-eenheden genoemd.

**a** Noteer de ontbrekende woorden en letters in de tabel.

**tabel 1** Grootheden en eenheden.

| grootheid | symbool | eenheid | symbool |
|---|---|---|---|
| stroomsterkte | I | ampère | A |
| spanning | U | volt | V |
| vermogen | P | watt | W |
| tijd | t | seconde | s |
| elektrische energie | E | joule | J |

**b** Welke twee eenheden worden in dit hoofdstuk veel gebruikt, maar ontbreken in tabel 1?

uur (h) als eenheid van tijd en kilowattuur (kWh) als eenheid van elektrische energie

**c** Waarom moet je ook met deze eenheden leren werken, terwijl ze niet de officiële wetenschappelijke eenheden zijn?

Uur (h) en kilowattuur (kWh) worden in de praktijk veel gebruikt. In een energierekening staat het elektriciteitsverbruik aangegeven in kWh en niet in MJ. Zolang dat zo blijft, is het handig om ook met h en kWh te kunnen werken en rekenen.

## TOEPASSING

**3** Een hanglamp wordt meestal aangesloten op een lichtpunt in het plafond. In een doe-het-zelfboek wordt uitgelegd hoe je daarbij te werk moet gaan (figuur 12).

**a** De zwarte draad die in de tekst wordt genoemd, is een schakeldraad.

**b** De andere aansluitdraad heet de nuldraad en de kleur daarvan is blauw.

**c** Je kunt de spanning van de zwarte draad afhalen door de lichtschakelaar op UIT te zetten.
Leg uit waarom dat niet zo'n veilige manier is.

Je kunt aan een schakelaar meestal niet zien of hij AAN of UIT staat. Bovendien kan iemand anders de schakelaar gemakkelijk weer op AAN zetten, terwijl je aan het werk bent.

**d** Wat is een veiligere manier om de spanning van een lichtpunt of stopcontact af te halen?

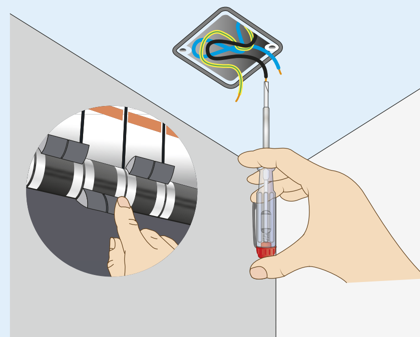
Het is veiliger om de bijbehorende groepsschakelaar in de meterkast om te zetten.

**e** Waarom is het verstandig om de meterkast daarna op slot te doen en de sleutel mee te nemen?

Op deze manier weet je zeker dat niemand per ongeluk de groep weer inschakelt.

## Veiligheid voor alles

- Voor u begint met het aansluiten van het snoer, zorgt u ervoor dat op de installatiedraden uit het plafond geen spanning staat. Dat kunt u controleren met een goed werkende spanningzoeker.
- Wanneer op de zwarte draad uit het plafond nog spanning staat, kunt u de draden spanningsloos maken door de bijbehorende lichtschakelaar om te zetten. Het is altijd veiliger om de desbetreffende groep in de meterkast uit te schakelen, de deur van de meterkast op slot te doen en de sleutel bij u te steken zolang u aan het werk bent.



**figuur 12** Een stukje uit een doe-het-zelfboek.

**4** Bereken hoe groot het vermogen van de volgende apparaten is. Zie de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

**a** Antons rekenmachine werkt op een batterij van 1,5 V; de stroomsterkte is 0,080 mA.

$U = 1{,}5$ V $\quad I = 0{,}080$ mA $= 0{,}000\,080$ A $\quad P = ?$

$P = U \cdot I = 1{,}5 \times 0{,}000\,080 = 0{,}000\,12$ W $= 0{,}12$ mW

**b** Birgits stofzuiger is op het lichtnet (230 V) aangesloten; de stroomsterkte is 7,8 A.

$U = 230$ V $\quad I = 7{,}8$ A $\quad P = ?$

$P = U \cdot I = 230 \times 7{,}8 = 1{,}8$ kW

**c** Corry schakelt de startmotor van haar auto in; de accu levert 8,1 V bij een stroomsterkte van 160 A.

$U = 8{,}1$ V $\quad I = 160$ A $\quad P = ?$

$P = U \cdot I = 8{,}1 \times 160 = 1{,}3$ kW

**5** Op een groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:

- een airfryer met een vermogen van 2100 W
- een ledlamp met een vermogen van 9,0 W en een ledlamp van 4,0 W
- een afzuigkap met een vermogen van 250 W
- een lcd-tv met een vermogen van 90 W

**a** Bereken het totale vermogen.

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 2100 + 9 + 4 + 250 + 90 = 2453$ W

**b** Bereken de totale stroomsterkte door de groep.

$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{2453}{230} = 11$ A

**★ 6** Mounir heeft een schakeling gemaakt met een batterij, drie verschillende lampjes en een stroommeter (figuur 13). De batterij geeft een spanning van 6,0 V. Op lampje 1 staat 6 V / 1,5 W. Op lampje 3 staat 6 V / 2,1 W. De stroommeter geeft een stroomsterkte van 0,80 A aan.

Bereken het vermogen van lampje 2. Schrijf de hele berekening op.

Gebruik de twee formules voor het totale vermogen:

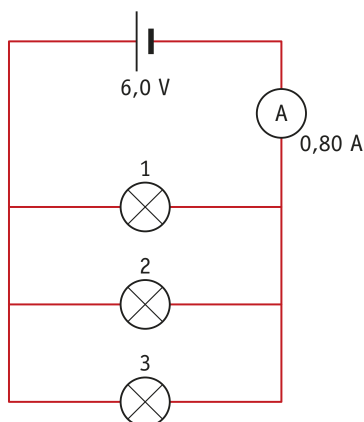
$P_{tot} = U \cdot I_{tot} = 6{,}0 \times 0{,}80 = 4{,}8$ W

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$

$4{,}8 = 1{,}5 + P_2 + 2{,}1$

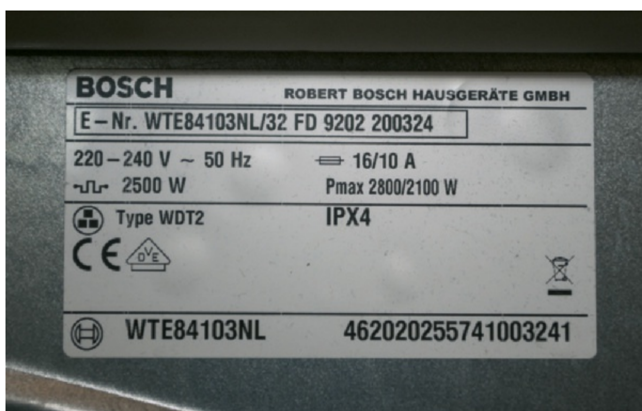
$4{,}8 = P_2 + 3{,}6$

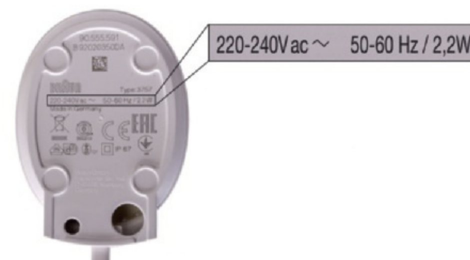
$P_2 = 4{,}8 - 3{,}6 = 1{,}2$ W




**figuur 13** De schakeling van Mounir.

**7** In figuur 14 zie je de typeplaatjes van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b).




**figuur 14** Typeplaatje van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b).

**a** De wasdroger doet er 1,6 uur over om de was droog te maken.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

$P = 2500$ W en $t = 1{,}6 \times 3600 = 5760$ s, $E = ?$

$E = P \cdot t = 2500 \times 5760 = 1{,}4 \cdot 10^7$ J (14 MJ)

$P = 2{,}5$ kW en $t = 1{,}6$ h, $E = ?$

$E = P \cdot t = 2{,}5 \times 1{,}6 = 4{,}0$ kWh

**b** Jan poetst 's ochtends 2,0 minuten lang zijn tanden. Als hij de tandenborstel op de oplader zet, heeft deze 6,0 minuten nodig om de tandenborstel weer op te laden.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

$P = 2{,}2$ W en $t = 6{,}0 \times 60 = 360$ s, $E = ?$

$E = P \cdot t = 2{,}2 \times 360 = 7{,}9 \cdot 10^2$ J

$P = 0{,}0022$ kW en $t = 6{,}0 : 60 = 0{,}1$ h, $E = ?$

$E = P \cdot t = 0{,}0022 \times 0{,}1 = 0{,}000\,22$ kWh

**c** Als je een elektrisch apparaat aanschaft, kan het vermogen een rol spelen.
Bij welk apparaat moet je daar zeker op letten: bij een wasdroger of bij een elektrische tandenborstel? Licht je antwoord toe met een berekening.

Bij de wasdroger moet je daar zeker op letten. Die verbruikt duizenden keren zoveel elektrische energie als een elektrische tandenborstel. Dat komt doordat het vermogen van de wasdroger veel groter is en hij ook nog eens veel langer aanstaat. Reken maar na:

$\dfrac{4{,}0 \text{ kWh}}{0{,}000\,22 \text{ kWh}} = 18 \cdot 10^3$ keer zoveel (ongeveer achttienduizend keer zoveel)

**Ga er bij de volgende opdrachten van uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,23 kost (prijspeil 2019).**

★ **8**

Samia gebruikt haar wasmachine twee keer per week. Ze stelt de wasmachine daarbij in op 60 °C. Ze wil bezuinigen op haar energiekosten en vraagt zich af hoeveel ze bespaart als ze voortaan op 30 °C zou wassen. In figuur 15 is het energiegebruik per wasbeurt van haar wasmachine uitgezet tegen de temperatuur van het waswater.
Bereken hoeveel geld Samia per jaar kan besparen (afgerond op hele euro's).

Bij wassen op 60 °C verbruikt de wasmachine 1,50 kWh elektrische energie per wasbeurt.

Per jaar verbruikt de wasmachine dan 1,50 × 2 × 52 = 156 kWh.

Bij wassen op 30 °C verbruikt de wasmachine 0,90 kWh elektrische energie per wasbeurt.

Per jaar verbruikt de wasmachine dan 0,90 × 2 × 52 = 94 kWh.

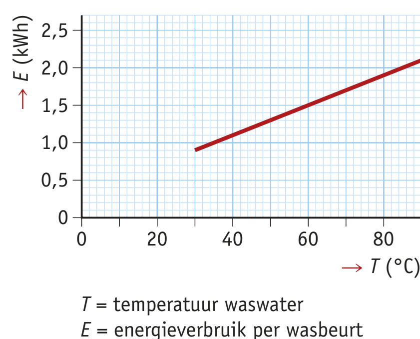
Samia bespaart hiermee 156 – 94 = 62 kWh. (*)

De besparing in geld is: 62 × € 0,23 = € 14,-

(*) Je kunt ook rekenen met de besparing per wasbeurt:

1,5 – 0,90 = 0,60 kWh

Over het hele jaar is de besparing: 0,60 × 2 × 52 = 62 kWh




**figuur 15** Het energieverbruik per wasbeurt.

★ 9

Als Jacqueline geen tv kijkt, staat haar toestel altijd stand-by. Ze vraagt zich af of haar energierekening daarvan veel hoger wordt. Daarom meet ze het vermogen van haar tv in de stand-bystand. Dat blijkt 4,0 W te zijn. Als de tv aanstaat, is het vermogen 260 W.

**a** Stel je voor dat het tv-toestel een heel jaar lang stand-by staat.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel dan per jaar gebruikt.

$P = 0{,}0040$ kW en $t = 24 \times 365 = 8760$ h

$E = P \cdot t = 0{,}0040 \times 8760 = 35$ kWh $(= 1{,}3 \cdot 10^8$ J)

**b** Bereken hoeveel Jacqueline voor die elektrische energie moet betalen.

De kosten zijn: $35 \times 0{,}23 =$ € 8,05

**c** Jacqueline kijkt gemiddeld 1,5 uur tv per dag.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel per jaar in totaal verbruikt.

als de tv aanstaat: $E = P \cdot t = 0{,}26$ kW $\times (365 \times 1{,}5$ h$) = 142$ kWh

als de tv uitstaat: $E = P \cdot t = 0{,}004$ kW $\times (365 \times 22{,}5$ h$) = 33$ kWh

totaal per jaar: $142 + 33 = 175$ kWh

**d** Hoeveel procent van dat totaal komt door het stand-byverbruik?

$\frac{33}{175} \times 100\% = 19\%$

## PLUS INSTALLATIEAUTOMAAT

**10** Het anker links boven in figuur 10 wordt bij een zeer grote stroom naar beneden getrokken.

**a** Wat kun je zeggen over het materiaal waarvan het anker is gemaakt?

Het anker kan alleen worden aangetrokken door de elektromagneet, als het wordt gemagnetiseerd, net als de U-vormige weekijzeren kern. Het anker is dus gemaakt van een magnetiseerbaar materiaal, waarschijnlijk ijzer.

**b** Het bimetaal links onder in figuur 10 krult naar rechts als de stroomsterkte in de groep te groot wordt.
Leg uit welke kant van het bimetaal in figuur 10 meer uitzet bij een te grote stroom: links of rechts?

Bij een te grote stroom neemt de temperatuur van het bimetaal toe, omdat het wordt verwarmd door het verwarmingselement. Het bimetaal krult naar rechts toe. Dat betekent dat de metalen strip rechts minder is uitgezet dan de strip links. De linkerkant van het bimetaal zet bij verhitting dus meer uit.

**11** Voor apparaten die veel elektrische energie verbruiken, zoals een jacuzzi, is een 16 A-installatieautomaat niet genoeg. Je kunt dan een aparte groep aanleggen met een 25 A-installatieautomaat.
Leg aan de hand van figuur 10 uit op welke manieren je een 16 A-installatieautomaat kunt aanpassen zodat hij pas bij 25 A de stroom uitschakelt. Bedenk minstens drie mogelijkheden.

Je kunt:

- de veer onder aan het hefboommechanisme stugger maken, zodat hij pas bij een grotere kracht de schakelaar opent.
- een spoel met minder windingen nemen, zodat het magneetveld van de elektromagneet dat ontstaat minder sterk is. Hierover leer je in de bovenbouw meer.
- een ander verwarmingselement nemen, dat pas bij een grotere stroom warm wordt.
- een korter stuk bimetaal gebruiken.

**12** In figuur 16 is een grafiek afgebeeld waarin je de uitschakeltijd van een installatieautomaat kunt aflezen als functie van de stroom. Voor zowel de *x*- als de *y*-as geldt dat de schaalverdeling niet lineair is. Je ziet onder aan de grafiek een hokje van 0,01 s, terwijl boven aan de grafiek een hokje wel 4000 s is.

**a** Leg uit waarom de tekenaar voor zo'n schaal heeft gekozen.

Op deze schaal zijn zowel kleine als grote getallen nauwkeurig af te lezen.

**b** Pien en haar ouders geven thuis een groot feest. Ze hebben besloten een bittergarnituur te serveren. Om snel uit te kunnen serveren sluiten ze twee friteuses aan. Beide friteuses hebben een vermogen van 2,75 kW. Ze worden op één groep aangesloten. Ga ervan uit dat de bittergarnituur in 10 minuten gaar wordt gebakken en dat daarbij het verwarmingselement continu aanstaat. Bereken met behulp van figuur 16 of de bittergarnituur gaar wordt gebakken.

De friteuses zijn parallel geschakeld, dus het totale vermogen is:

$P_{tot} = 2 \times 2750 = 5500$ W

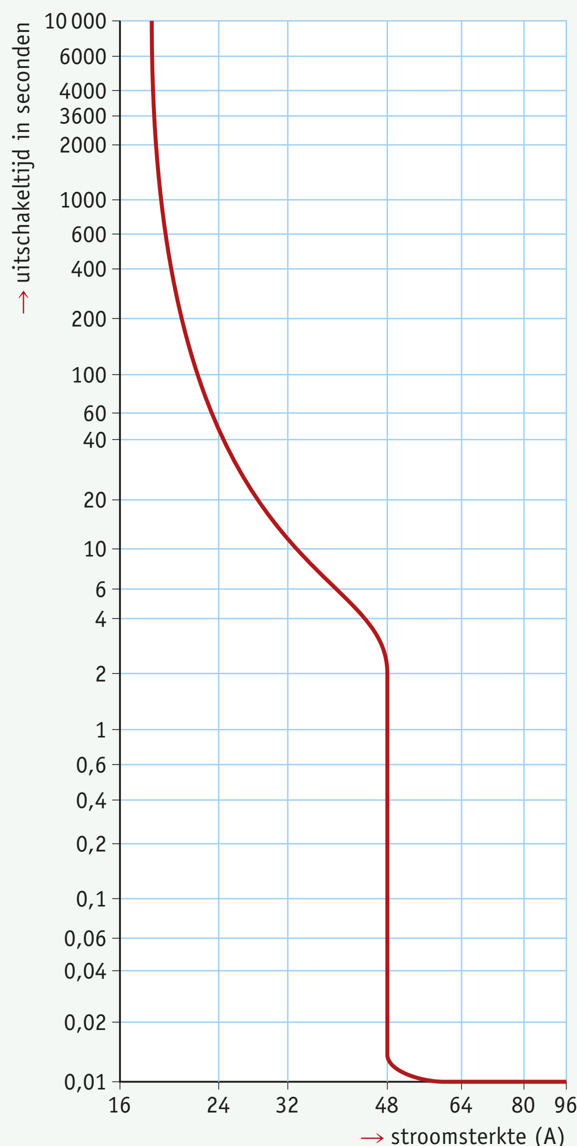
De stroomsterkte die door de twee friteuses stroomt is:

$U = 230$ V

$I = \frac{P}{U}$

$I = \frac{5500}{230} = 23{,}9$ A

Aflezen in de grafiek geeft de uitschakeltijd: 40 s. Dit is helaas niet lang genoeg om de bitterballen gaar te bakken.




**figuur 16** De uitschakeltijd van een 16 A-installatieautomaat hangt af van de stroomsterkte.

# 4 Elektriciteit en veiligheid

## LEERSTOF

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Door welke twee oorzaken kan de stroomsterkte in een groep te groot worden?

door overbelasting (doordat er te veel apparaten tegelijk aanstaan) en door kortsluiting

**b** Leg uit wat er aan de hand is wanneer er in een apparaat kortsluiting ontstaat.

Bij kortsluiting kan de elektrische stroom een weg nemen met weinig weerstand van de fasedraad naar de nuldraad. De stroomsterkte kan daardoor enorm groot worden.

**c** Hoe kun je aan een installatieautomaat zien dat hij de stroom in de groep heeft uitgeschakeld?

Het hefboompje is dan omgeklapt.

**d** Hoe bepaalt een aardlekschakelaar of de stroom moet worden uitgeschakeld?

Een aardlekschakelaar vergelijkt de stroomsterkte in de nuldraad met de stroomsterkte in de fasedraad. Als de stroomsterkte in de nuldraad 30 mA of meer verschilt van de stroomsterkte in de fasedraad, schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.

**e** In welke situatie geeft een aardlekschakelaar je meer veiligheid dan een zekering?

Als er een lekstroom loopt (meestal doordat de isolatie van een apparaat niet goed meer is) die groter is dan 30 mA en kleiner dan 16 A.

**2** Apparaten met een metalen buitenkant zoals een wasmachine of een koelkast zijn altijd geaard.

**a** Leg uit waarom het belangrijk is dat de metalen buitenkant van een wasmachine wordt geaard.

Het aarden van de metalen buitenkant zorgt ervoor dat de stroom meteen wordt uitgeschakeld als de metalen buitenkant door een defect onder spanning komt te staan.

**b** Leg uit langs welke route de lekstroom (verliesstroom) dan wordt afgevoerd.

Van de buitenkant van het apparaat, door een aarddraad in het aansluitsnoer naar de randaarde in het stopcontact; daarna verder door een aarddraad in de huisinstallatie naar de aardleiding in de meterkast.

**c** Waaraan kun je een aarddraad meteen herkennen?

Je herkent een aarddraad aan zijn groengele kleur.

**d** Leg uit waarom het geen zin heeft om de buitenkant van een dubbel geïsoleerd apparaat te aarden.

Omdat de buitenkant van zo'n apparaat van een niet-geleidende kunststof is gemaakt.

## TOEPASSING

**3** Als je een draad beetpakt waar een spanning van 230 V op staat, krijg je een stevige schok. Van schrik kunnen je handen dan nat worden van het zweet.

**a** Hoe verandert de contactweerstand van je lichaam door het zweet?

De contactweerstand wordt kleiner (zweet bestaat uit water waarin zouten zijn opgelost, en is daardoor een goede geleider van elektriciteit).

**b** Als gevolg van het zweten wordt het moeilijker om de draad weer los te laten. Leg uit hoe dat komt.

Doordat de contactweerstand kleiner wordt, neemt de stroomsterkte door het lichaam toe. Daardoor trekken de spieren sterker samen, zodat het moeilijker wordt om de draad los te laten. Om los te laten, moet je je spieren juist ontspannen.

**4** In een heteluchtoven zit een verwarmingselement dat de lucht verhit (1450 W), een ventilator voor het verspreiden van de hete lucht (80 W) en een grill (1300 W).

**a** Bereken de maximale stroom door de heteluchtoven.

$P_{tot} = P_{element} + P_{ventilator} + P_{grill} = 1450 + 80 + 1300 = 2830$ W

$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{2830}{230} = 12$ A

**b** In de keuken staan behalve de heteluchtoven ook nog een koffiemachine (800 W), een koelkast (100 W) en een afwasmachine (1800 W). Stel dat al deze apparaten op dezelfde groep zijn aangesloten en tegelijk worden aangezet.
Leg uit of de zekering de groep dan zal uitschakelen.

Op een groep kan het vermogen maximaal 230 V × 16 A = 3680 W zijn. De oven had al een vermogen van 2830 W. Als je dan alleen al de afwasmachine aanzet, dan gaat het zeker mis. Je kunt natuurlijk ook net als bij opdracht a alle vermogens bij elkaar optellen en dan de totale stroomsterkte uitrekenen:

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 2830 + 800 + 100 + 1800 = 5530$ W

$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{5530}{230} = 24$ A en dat is veel meer dan 16 A.

**c** Geef een voordeel en een nadeel van het aanleggen van een eigen groep voor de heteluchtoven.

Als de oven een eigen groep heeft, kun je hem tegelijk met alle andere apparaten gebruiken, zonder dat de installatieautomaat omklapt. Het nadeel is dat het aanleggen van een extra groep extra geld en moeite kost.

**★ 5** In een folder staat een advertentie voor een kabelhaspel (figuur 10). Daarin wordt ervoor gewaarschuwd dat je de kabel voor een beperkt vermogen kunt gebruiken.

**a** Bereken hoe groot de maximale stroomsterkte is:
- als de kabel helemaal is afgerold.
- als de kabel nog op de haspel zit.

- afgerold: $I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{3500}{230} = 15{,}2$ A
- op de haspel: $I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{1100}{230} = 4{,}78$ A

**b** Anne gebruikt de kabelhaspel om een houtversnipperaar van 2,2 kW op het lichtnet aan te sluiten.
Leg uit wat er fout kan gaan, als ze de kabel niet eerst helemaal afrolt.

Hoe groter het vermogen, des te groter de stroomsterkte en de warmteontwikkeling in de kabel. Het vermogen van 2,2 kW ligt ver boven het toegestane vermogen in opgerolde toestand. Als de kabel niet is afgerold, kan de isolatie rond de kabel smelten of gaan smeulen.

**c** Waaruit kun je afleiden dat het koperdraad van de kabel ongeveer even dik is als het koperdraad in de huisinstallatie?

De maximale stroomsterkte door de afgerolde kabel is 15,2 A. Dit is vrijwel even groot als de maximale stroomsterkte in een groep van een huisinstallatie. De kabel is dus ongeveer even dik als het koperdraad in een huisinstallatie.




**figuur 10** Een advertentie voor een kabelhaspel.

**6** In de keuken van Peters flat staan drie elektrische apparaten aan: de wasmachine, de elektrische oven en de koelkast. Op het moment dat Peter ook nog zijn waterkoker aanzet, valt opeens de elektriciteit uit.

**a** Noteer twee mogelijke oorzaken voor het uitvallen van de elektriciteit.

overbelasting (er staan te veel apparaten aan met een te groot totaal vermogen) of kortsluiting (in de waterkoker of het aansluitsnoer is de isolatie niet goed meer)

**b** De televisie in Peters huiskamer staat nog wel aan.
Hoe kan het dat daar de elektriciteit niet is uitgevallen?

De televisie in de huiskamer is aangesloten op een andere groep.

**c** Peter ziet in de meterkast dat het hefboompje van een van de installatieautomaten omlaag is geklapt. Als hij dit hefboompje omhoogduwt en loslaat, valt het net zo snel weer terug.
Wat had Peter eerst moeten doen?

Peter had eerst de stekker van de waterkoker uit het stopcontact moeten halen.

**7** Als David zijn elektrische oven aanraakt, krijgt hij een schok. Op dat moment loopt er een stroom van 8,25 A door de fasedraad en een stroom van 8,21 A door de nuldraad.

**a** Bereken de grootte van de lekstroom in deze situatie.

$I_{lek} = 8{,}25 - 8{,}21 = 0{,}040 \text{ A} = 40 \text{ mA}$

**b** Leg uit of de aardlekschakelaar de stroom zal uitschakelen.

De aardlekschakelaar zal de stroom uitschakelen, omdat de lekstroom groter is dan 30 mA.

**c** Als de oven een dag later wordt gerepareerd, blijkt dat de aarddraad is losgegaan.
Daardoor was de metalen buitenkant van het apparaat niet meer geaard.
Leg uit dat David geen schok had gekregen, als de aarddraad goed vast had gezeten.

In dat geval was er meteen een lekstroom gaan lopen (door de aarddraad naar de aardleiding in de meterkast) op het moment dat de buitenkant van de oven onder spanning kwam te staan. De aardlekschakelaar had de stroom dan ogenblikkelijk uitgeschakeld, nog voordat David de oven had aangeraakt.

**8** Een elektrische schok kan ernstig letsel veroorzaken. Hoe groot het risico is, hangt af van de stroomsterkte en van de tijd dat de stroom door je lichaam loopt (figuur 11).

**a** Binnen welke tijd moet een aardlekschakelaar de stroom uitschakelen om het risico beperkt te houden:

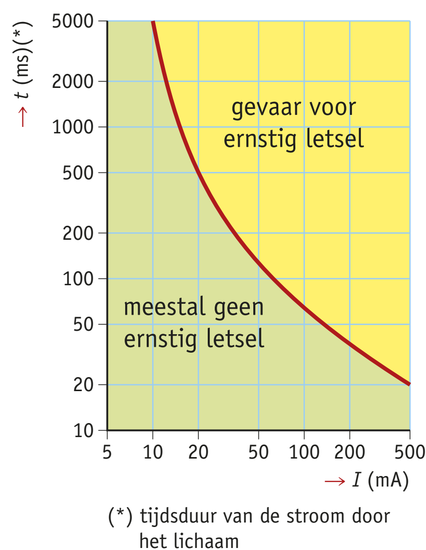
- bij een stroomsterkte van 50 mA?
- bij een stroomsterkte van 200 mA?

bij 50 mA: binnen 140 ms

bij 200 mA: binnen 40 ms

**b** Op de website www.veiligheid.nl staat: “De aardlekschakelaar schakelt uit als de lekstroom groter is dan 30 milliampère en minimaal 20 milliseconden aanhoudt en maakt daarmee elektrocutie onmogelijk.”
Leg uit of deze bewering klopt met de informatie in figuur 11.

Ja, dat klopt. Je kunt in de grafiek aflezen dat een lekstroom van 30 mA pas gevaarlijk is boven circa 200 ms. Ver voor die tijd, al na 20 ms, heeft de aardlekschakelaar de stroom uitgeschakeld.




**figuur 11** De gevarengrens bij een elektrische schok.

★ 9

Gilles controleert of er spanning op een stopcontact staat. Het neonlampje in de spanningzoeker gaat branden als hij met een vinger achter op de spanningzoeker drukt (figuur 12).



**figuur 12** Een stopcontact met een spanningzoeker testen.

**a** Is het een sterke stroom die dan door het neonlampje en zijn vinger naar de aarde loopt? Hoe weet je dat?

Het is een heel zwakke stroom, want de stroom is niet te voelen.

**b** Het valt Gilles op dat het neonlampje feller gaat branden als hij met zijn andere hand een waterkraan aanraakt.
Hoe komt het dat de stroomsterkte dan toeneemt? Gebruik het woord ‘weerstand’ in je uitleg.

De stroom gaat via de spanningzoeker en de arm van Gilles naar de geaarde waterkraan. Deze weg heeft veel minder weerstand dan de weg via zijn lichaam en zijn (waarschijnlijk goed isolerende) schoenen. De stroomsterkte zal daardoor groter zijn en het neonlampje in de spanningzoeker zal feller branden.

**c** Zijn de waterleidingbuizen in Gilles’ huis van koper of van plastic gemaakt? Licht je antwoord toe.

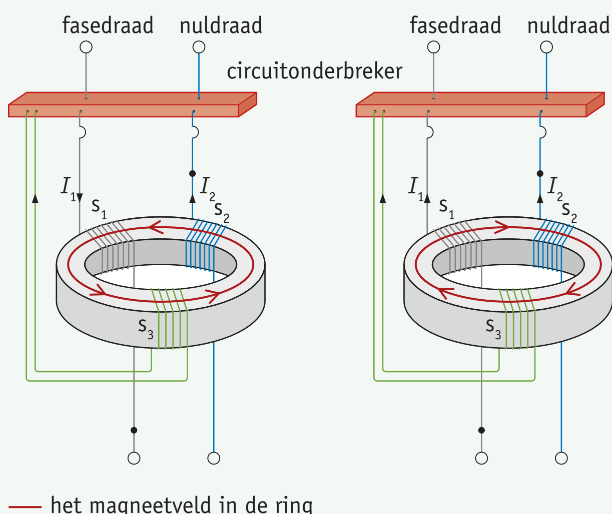
Van koper, omdat de buizen de elektrische stroom blijkbaar goed geleiden. Anders zou het neonlampje niet feller gaan branden na het aanraken van een waterkraan.

## PLUS DE WERKING VAN EEN AARDLEKSCHAKELAAR

**10** De spoelen $S_1$ en $S_2$ in figuur 9 hebben een gelijk aantal windingen.

**a** Leg uit waarom dit belangrijk is.

Anders zouden de magneetvelden (bij gelijke stroomsterkten $I_1$ en $I_2$) elkaar niet opheffen en dan zou de aardlekschakelaar reageren, terwijl er niets aan de hand is.




**figuur 13** Het netto-magneetveld in de ring wisselt snel van richting.

**b** In figuur 13 zie je twee momentopnamen van het netto-magneetveld dat ontstaat in de ijzeren ring als de stroomsterkte $I_1$ groter is dan $I_2$.
Leg uit waarom dit netto-magneetveld in de ijzeren ring steeds van richting verandert.

Er gaat wisselstroom door de spoelen $S_1$ en $S_2$. De stroom wisselt steeds tegelijkertijd van richting en de door $I_1$ en $I_2$ opgewekte magneetvelden dus ook (maar ze heffen elkaar wel op als ze even groot zijn).

Als $I_1 > I_2$ is er een netto-magneetveld (omdat het magneetveld van $S_1$ groter is dan het magneetveld van $S_2$), maar ook dit netto-magneetveld wisselt nog steeds heel snel van richting.

**c** Leg uit waarom er nu een inductiespanning wordt opgewekt in de detectiespoel $S_3$.
Gebruik in je antwoord het woord 'magneetveld'.

Een inductiespanning wordt opgewekt als het magneetveld in een spoel *verandert* (opmerking: dit laatste woord moet in het antwoord staan dat je hebt gegeven).
Het netto-magneetveld van spoel $S_1$ en $S_2$ loopt via de ijzeren ring ook door spoel $S_3$. Doordat het netto-magneetveld in deze spoel dus ook heel snel (van richting) verandert, ontstaat er een inductiespanning in spoel $S_3$.

**d** De grootte van de opgewekte inductiespanning in detectiespoel $S_3$ hangt onder andere af van de *snelheid* waarmee het magnetisch veld verandert: als het veld 2× zo snel verandert, wordt de opgewekte spanning 2× zo groot.
In Nederland is de frequentie van de wisselspanning 50 Hz, op het eiland Antigua is deze 60 Hz, bij dezelfde netspanning.
Leg uit waar de aardlekschakelaar onder gelijke omstandigheden eerder zal reageren, in Nederland of op Antigua?

De wisselspanning op Antigua verandert sneller (van richting), dus het netto-magneetveld ook. De opgewekte inductiespanning zal op Antigua onder gelijke omstandigheden dus groter zijn. De circuitonderbreker zal op Antigua dus eerder reageren.

**e** Esther zegt: "Als in de aardlekschakelaar van figuur 9 de wisselstromen $I_1$ en $I_2$ zouden worden vervangen door gelijkstromen (met dezelfde sterkte), dan zou de aardlekschakelaar bij dezelfde waarde van de lekstroom reageren."
Leg uit of Esther gelijk heeft.

De werking van de aardlekschakelaar berust op het feit dat het magneetveld steeds van richting verandert. Als er een lekstroom zou zijn, bijvoorbeeld $I_1 > I_2$, dan zou er wel een netto-magneetveld zijn, maar dit veld *verandert* niet. De aardlekschakelaar zou dus helemaal niet werken.

**11**

**a** Roy zegt: “Als je de ijzeren ring door een koperen ring vervangt, zal de aardlekschakelaar nog eerder reageren, want koper geleidt de stroom veel beter.”
Leg uit dat Roy ongelijk heeft.

Er loopt geen stroom door de ijzeren ring zelf. De energie wordt overgebracht naar de detectiespoel door het magneetveld (de detectiespoel is magnetisch gekoppeld met de twee andere spoelen).

**b** Hoe moet je de detectiespoel in figuur 9 aanpassen om bij dezelfde lekstroom de aardlekschakelaar eerder te laten reageren?
Hint: de detectiespoel kun je vergelijken met de secundaire spoel in een transformator.

Bij de secundaire spoel in de transformator geldt: hoe groter het aantal windingen, hoe groter de opgewekte spanning. Deze regel geldt hier ook, dus door het aantal windingen groter te maken zal de opgewekte spanning groter zijn en zal de circuitonderbreker eerder reageren.

# Een supernetwerk voor Europa

**1** Bereken met de gegevens in de tekst:

**a** hoe groot de (totale) stroomsterkte door de koperen aders is, als het maximale vermogen van de NorNed-kabel wordt benut.

$P = 700$ MW $= 7{,}00 \cdot 10^8$ W

$U = 450$ kV $= 4{,}50 \cdot 10^5$ V

$I = \frac{P}{U} = \frac{7{,}00 \cdot 10^8}{4{,}50 \cdot 10^5} = 1{,}56 \cdot 10^3$ A

**b** hoeveel kWh elektrische energie de NorNed-kabel in één dag kan vervoeren van Nederland naar Noorwegen (of omgekeerd).

$P = 700$ MW $= 7{,}00 \cdot 10^5$ kW

$t = 24$ h

$E = P \cdot t = 7{,}00 \cdot 10^5 \times 24 = 1{,}68 \cdot 10^7$ kWh (bijna 17 miljoen kWh)

**2** Voor de NorNed-kabel is gebruikgemaakt van de HVDC-technologie.

**a** Waarom wordt er voor energietransport over lange afstand gekozen voor HVDC-kabels in plaats van gewone hoogspanningslijnen?

Als de te overbruggen afstand groter is dan circa 100 km, is HVDC energie-efficiënter dan de gewone hoogspanningsleidingen die met wisselspanning (AC) werken. De energieverliezen in de kabels zijn bij HVDC kleiner en dat maakt het mogelijk de elektrische energie rendabel te transporteren.

**b** Waarom is HVDC niet geschikt voor het gewone elektriciteitsnet, dat de elektrische energie verdeelt over steden en dorpen?

Het omzetten van wisselstroom (AC) naar gelijkstroom (DC) en – na transport – weer van gelijkstroom naar wisselstroom vereist dure en omvangrijke apparatuur. De kosten van die apparatuur wegen bij korte afstanden niet op tegen het – door de korte afstand relatief lage – extra energieverlies bij gebruik van wisselspanning.

**3** Technisch is het mogelijk een Duits overschot aan windenergie tijdelijk op te slaan in Noorse stuwmeren. Er zijn plannen om hiervoor een HVDC-verbinding te leggen tussen Duitsland en Noorwegen.
Leg uit:

**a** hoe je een overschot aan duurzame energie in een stuwmeer kunt opslaan.

Je kunt het overschot aan elektrische energie gebruiken om elektrische pompen aan te drijven die water omhoogpompen naar het stuwmeer.

**b** hoe het komt dat de opslagcapaciteit beperkt is en niet altijd even groot is.

Je kunt niet onbeperkt water naar het meer pompen: vol is vol. De capaciteit is variabel doordat het stuwmeer ook het natuurlijke wateraanbod moet opvangen. Als het veel heeft geregend, is het stuwmeer al vol en kun je er niet nog extra water in opslaan. Als het droog is, staat het water laag en kun je er dus flink wat extra water in kwijt.

**c** op welke manier je de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer kunt halen.

Je haalt de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer door het water via grote waterturbines uit het meer naar beneden te laten stromen. De turbines drijven op hun beurt generatoren aan die – gemakkelijk te transporteren – elektrische energie opwekken.